Решение:

Число молекул N, содержащееся во всем сосуде, можно

найти из соотношения: N = — NA. Тогда число молекул в

***М***

единице объема и = — или п = —. Согласно урав-

*V jLlV*

***ш***

нению Менделеева — Клапейрона, pV =—RT, откуда

***М***

*т PV* т *PNа ъ л* 1лП -з

— = -—. Тогда п = ———; и = 3,4 • 10 м .

*р RT RT*

1. Для получения хорошего вакуума в стеклянном сосуде  
   необходимо подогревать стенки сосуда при откачке для удале-  
   ния адсорбированного газа. На сколько может повыситься давле-  
   ние в сферическом сосуде радиусом г =10 см, если адсорби-  
   рованные молекулы перейдут со стенок в сосуд? Площадь попе-  
   речного сечения молекул s0 = КГ19 м2. Температура газа в сосуде  
   t - 300° С. Слой молекул на стенках считать мономолеку-  
   лярным.

Решение:

Давление р газа в сосуде связано с числом молекул п в  
единице объема сосуда соотношением р = пкТ или

р = — (1), где N — число молекул в объеме

V = 4яг3/3 — (2). По условию эти N молекул образуют

g

мономолекулярный слой, следовательно, N- —, где

S = 4 яг2 —

ЪкТ о „ гг  
р = ; р = 2,4 Па.

(3). Подставляя (2) и (3) в (1), получим

V

1. Какое число частиц находится в единице массы  
   парообразного йода (l2), степень диссоциации которого  
   а = 0,5 ? Молярная масса молекулярного йода ju = 0,254 кг/моль.

Решение:

Имеем

V, =

*lean*

атомарного иода и

(«-!)

***m***

*ц ju*

молекулярного йода (см. задачу 5.30). В единице массы

V, =

**2 а**

**Vo =**

**а-1**

парообразного йода ,,=na

Число частиц в единице массы  
; п = 3,56-1024 кг'1.

|  |  |
| --- | --- |
| ( 2 а | 1-a^l |
| 1 | |
|  | М ) |

1. Какое число частиц N находится в массе m = 16 г кис-  
   лорода, степень диссоциации которого а- 0,5 ?

Решение:

Количество атомарного кислорода, находящегося в данной  
2 ост

массе, Vj = , количество молекулярного кислорода

***М***

(l *-a)‘in* „ 2 *am*

v9 = —. Общее количество кислорода v = +

*ju ju*

**(\-а)-т** тт АГ АГ

+ - —. Число частиц в массе т кислорода N = NAv .

***М***

После несложных преобразований получим N = NAx

хш:(а±1); N = 4,5-1023.

***М***

1. В сосуде находится количество vl =10-7 молей кисло-  
   рода и масса т2=\0~вг азота. Температура смеси / = 100°С,  
   давление в сосуде р = 133мПа. Найти объем V сосуда, парци-  
   альные давления р, и р2 кислорода и азота и число молекул п  
   в единице объема сосуда.

Решение:

По закону Дальтона p = pt+p2 — 0)- Согласно урав-

нению Менделеева — Клапейрона, p,F = —-RT — (2) и

***тп*,**

*Mi*

***Ш-)***

p2V =—-RT — (3), где р,— молярная масса кислорода,

*Mi*

р2— молярная масса азота. Решая (1) — (3), получим

*pV - RT*

*V =*

*RT*

**r** /77, m2 >

*Mi j*

\

или pV = RT

***m***

*Mi*

откуда

***\***

*Mi J*

; V = 3,2 л. Парциальное давление кисло-

рода p, найдем из уравнения Менделеева — Клапейрона  
p,F = vxRT , откуда р, = vxRT/ V ; р, = 98 МПа.

*m-,RT*

; р2 = 35МПа.

Парциальное давление азота р2 =

***м2у***

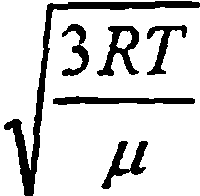
Для нахождения числа молекул п в единице объема сосуда  
воспользуемся формулой, выведенной в задаче 5.41:

п = pNK / RT; п = 2,6 • 1019 м‘3.

1. Найти среднюю квадратичную скорость Vv2 молекул  
   воздуха при температуре / = 17° С. Молярная масса воздуха  
   р = 0,029 кг/моль.

Решение:

Средняя квадратичная скорость молекул  
Для молекул воздуха



rr= 13-8,31-290  
V 0,029

= 500 м/с.

1. Найти отношение средних квадратичных скоростей мо-  
   лекул гелия и азота при одинаковых температурах.

Решение:

Средняя квадратичная скорость молекул гелия **V**7**-**

Ff 1Ш7

**13*ят  
М\***

v; = | . Отсюда отноше-

***Иг***

, молекул азота

ние

К= !К

л

. Молярная масса гелия //, = 0,004 кг/моль.

Молярная масса азота /л2 =0,028 кг/моль. Тогда  
/fi = 2,65.

1. В момент взрыва атомной бомбы развивается темпе-  
   ратура Т ~ 107 К. Считая, что при такой температуре все моле-  
   кулы полностью диссоциированы на атомы, а атомы иони-  
   зированы, найти среднюю квадратичную скорость иона

водорода.

Решение:

Средняя квадратичная скорость иона водорода

где молярная масса иона водорода

13 RT

105 м/с.

V А

// = 0,001 кг/моль. Отсюда  
218

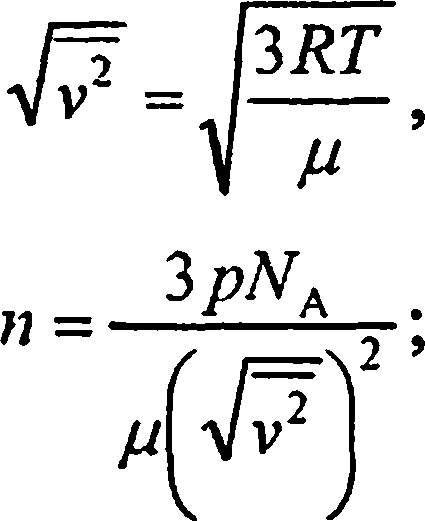
скорость его молекул = 2,4 км/с.

Решение:

В задаче 5.41 была получена формула, выражающая число  
молекул газа в единице объема п = . Средняя

*RT*

квадратичная скорость молекул водорода



отсюда RT = •///3. Тогда  
п = 4,2-1024 м"3.

1. Плотность некоторого газа р - 0,06 кг, средняя

квадратичная скорость его молекул & - 500 м/с. Найти  
давление р, которое газ оказывает на стенки сосуда.

Решение:

Давление газа определяется основным уравнением моле-

2 2

кулярно-кинетической теории (МКТ): р =—п —^ (1),  
где п — число молекул в единице объема, т0 — масса  
молекулы. Кроме того, п и т0 связаны соотношением:

п=—. Тогда уравнение (1) можно записать следующим  
Щ

***pv\****

образом\* р = : р- 5 кПа.

1. Во сколько раз средняя квадратичная скорость пылинки,  
   взвешенной в воздухе, меньше средней квадратичной скорости

молекул воздуха? Масса пылинки w = 10"8r. Воздух считать  
однородным газом, молярная масса которого // = 0,029 кг/моль.

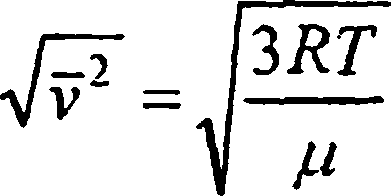
Решение:

Среднюю квадратичную скорость молено выразить с

помощью следующих соотношений:

*ЪкТ*

*m*



Для пылинки

*ЪкТ*

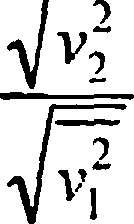
***m***

. Для воздуха

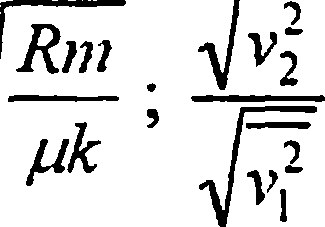
*ЪКТ t*

i

***м***



= 1,44-107.



1. Найти импульс mv молекулы водорода при темпе-  
   ратуре / = 20° С. Скорость молекулы считать равной средней  
   квадратичной скорости.

Решение:

Масса молекулы водорода m =

Ее средняя

квадратичная скорость

\_ м 1злт \_ J3RTM '

mv =

*N,*

***М***

***и***

Тогда

mv = 6,3 • 10"24 кг-м/с.

1. В сосуде объемом V = 2 л находится масса m = 10 г  
   кислорода при давлении /? = 90,6кПа. Найти среднюю

Решение:

*v* г, *A Pt Pt*

К. п. д. двигателя ?/= — = (1), откуда т = —. С

***О пщ щ***

другой стороны, tj = \-

**Pr-i**

(2) (см. задачу

2.214). В условиях данной задачи Р = — = ^~ = 2,5:

1. *6,4*

Г = U; Ру - 3,29; /Г-1 = 2,29; ^ =2,30; >0-1 = 1,5.  
Подставляя эти данные в (2), получим 77 = 0,49 = 49%.  
Тогда т = 5,9 кг.

1. Найти изменение AS энтропии при превращении  
   **массы** т = 10 г льда (t - -20° С) в пар (tn = 100° С).

Решение:

Изменение энтропии при переходе вещества из состояния  
1 в состояние 2 AS = j —^, где, согласно первому началу

термодинамики, dQ = dU + dA =—С, dT + pdV . T. к. из

/77

***И***

уравнения Менделеева — Клапейрона давление р =

m *RT****М У***

,~ /7/ ^ jrr /77 RT ... \_

то dQ- — CvdT + dV . При переходе из одного агре-

***М М У***

гатного состояния в другое, общее изменение энтропии  
складывается из изменений ее в отдельных процессах. При  
нагревании льда от Т до Т0 (Т0 — температура плав-

-■С-^ = 7//сл In —, где сп = 2.1 кДж/(кг-К) -

ко

ления) А5, = J\*

***1***

удельная теплоемкость льда. При плавлении льда

321

11—3268

Тогда масса частицы т - pV =

**Р =** |3Wj6.77 = 4 65.10-з м/с

***яра'***

Отсюда

**V** тира

5.55. Средняя квадратичная скорость молекул некоторого

газа **Р** = 450 м/с. Давление газа р = 50кПа. Найти плотность  
р газа при этих условиях.

Решение:

Давление газа определяется основным уравнением МКТ:

*р =—п*

— (1), где п — число молекул в единице

**3 2**

объема, /770 — масса молекулы. Кроме того, п и т0связаны соотношением: п-—. Тогда уравнение (1)

***Шг***

можно записать следующим образом: р = £—9 откуда

р = -==-; р = 0,74 кг/м .

V"

5.56. Плотность некоторого газа р = 0,082 кг/м3 при давлении  
/? = 100кПа и температуре / = 17° С. Найти среднюю квадра-

тичную скорость  
этого газа?

***р***

молекул газа. Какова молярная масса р

Решение:

Из предыдущей задачи р-- , откуда

***Р-М-,***

*pv*

3 v Р

**р-** 1,9 км/с. Молярную массу // этого газа можно найти  
222

5.21$. Найти изменение AS энтропии при плавлении массы  
т = 1 кг льда (t - 0° С).

Решение:

При, плавлении массы т льда при температуре Т имеем  
AS ~~Y~ > гДе Я - 0,33 МДж/кг — удельная теплота плав-  
ления. AS = 1209 Дж/кг.

5.219. Массу m = 640 г расплавленного свинца при темпе-  
ратуре плавления вылили на лед (t - 0° С). Найти изменение  
AS энтропии при этом процессе.

Решение:

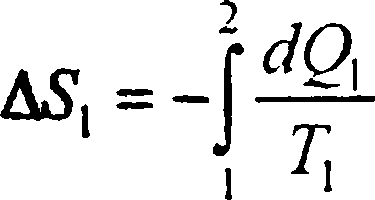
Предположим, что система «свинец — лед» замкнута, т.е.  
потерь тепла во внешнюю среду нс происходит и весь  
образовавшийся пар сконденсировался и остался внутри  
системы в виде воды. Тогда изменение энтропии системы  
AS будет складываться из изменения энтропии свинца  
ДSj при затвердевании, изменения энтропии свинца AS2при охлаждении до t - 0° С и изменения энтропии льда  
при таянии ДЗ'з. Т. е. AS = ASX + AS2 + AS2. Задачу  
рассматриваем при условии, что льда имеется достаточное  
количество для поддержания температуры t = 0° С.  
Обозначим 7] =600 К — температура плавления свинца,

Г2 = 273 К — температура льда. Имеем dS{ =dQ]/T или

где Я = 22,6 кДж/кг — удельная те-

111 А,

т



плота плавления (кристаллизации) свинца. dS2

*d02Т 9*

от-

Решение:

Внутренняя энергия газа W =——RT. Воздух можно

2 /7

считать (в процентном соотношении) двухатомным газом,

т.е. число степеней свободы  
W = 210 Дж.

(=5. Тогда W =——RT;

**2 М**

1. Найти энергию JVBp вращательного движения молекул,  
   содержащихся в массе т - 1 кг азота при температуре t = 7° С.

Решение:

7 777

Внутренняя энергия газа W RT. Поскольку моле-

2 А

кула азота состоит из двух атомов, то для нее количество  
степеней свободы вращательного движения i-2. Тогда

*Wev=-RT*; *Wsp =* 83 кДж.

//

1. Найти внутреннюю энергию W двухатомного газа,  
   находящегося в сосуде объемом V = 2 л под давлением  
   р = 150 кПа.

Решение:

Согласно уравнению состояния идеального газа

pV --RT — (1). Внутренняя энергия газа W =——RT  
ц 2 /и

*i*

или, с учетом (1), W =—pV. Для двухатомного газа

5

количество степеней свободы / = 5, тогда W = — pl/:

2

W = 750 Дж.

224

1. Энергия поступательного движения молекул азота,  
   находящегося в баллоне объем **V** = 20 л, **1Г=5кДж,** а средняя  
   квадратичная скорость его молекул л/v2 = **2-I03** м/с. Найти  
   массу **pi** азота в баллоне и давление /?, под которым он  
   находится.

Решение:

Энергия поступательного движения молекул азота  
' mv2 2JV

W =——. откуда /// = -=-; т - 2,5 г. Согласно основному

1. /;/0г

**v**

(1), где п — число

уравнению МКТ **р=—п—**

молекул в единице ооъема, т0 — масса одной молекулы.  
Очевидно, что произведение тщ - р — плотности азота.  
Тогда nmQV = pV = т — массе всего азота, находящегося в  
баллоне. Умножив правую и левую части уравнения (1) на

V, получим pV =^fwiQV—= —w—•

3 2 3 2

1. 2 W  
   следовательно, pV = — W , откуда р~——
2. 3v

Но

*mv*

***= W,***

; = 167 кПа.

1. При какой температуре **Т** энергия теплового движения  
   атомов гелия будет достаточна для того, чтобы атомы гелия  
   преодолели земное тягоюнис и навсегда покинули земную  
   атмосферу? Решить аналогичную задачу для Луны.

Решение:

Согласно условию задачи средняя квадратичная скорость  
атомов гелия должна быть равна второй космической

225

8-3268

Т—; Г«2\*104К. Для Луны Vv^~ = 2,4 км/с, тогда  
3/?

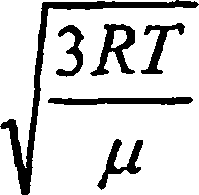
скорости,

т.е.

V7 = 11,2 км/с.

откуда

5



Т = 900 К.

1. Масса m = 1 кг двухатомного газа находится под  
   давлением /? = 80кПа и имеет плотность р = 4кг/м\ Найти

энергию теплового движения W молекул газа при этих  
условиях.

Решение:

Энергия теплового движения двухатомного газа  
W = — vRT =——RT. Согласно уравнению Менделе-

2 2 *р*

**ш** 5

ева — Клапейрона pV = — RT, тогда W = — pV . Так как

**М** 2

тг m тхг 5 /7/71 тгг \_

V = —, то окончательно имеем W = ———; W = 50 кДж.

Р 2 р

1. Какое число молекул N двухатомного газа содержит  
   объем К = 10см-> при давлении /? = 5,ЗкПа и температуре  
   t = 27° С? Какой энергией теплового движения W обладают эти  
   молекулы?

Решение:

Согласно уравнению Менделеева — Клапейрона pV =

*vi N*

=—RT = vRT. Количество вещества v= , где N —

***Р na***

число молекул в данном объеме вещества, NA — число  
226

Авогадро. Тогда pV RT. Но -к — постоянной

Больцмана. Отсюда окончательно имеем pV = NkT,

г» Т/

откуда N = —— ; = 1,3 • 1019. Энергия теплового движения

*кТ*

*...* 5 *m jyrr-, m N*

двухатомного газа W RT, где — = у = , тогда

2 // *ju Na*

*W = ~—RT; W* =0,133Дж.

1. Найти удельную 1еплоемкость с кислорода для:  
   а) V = const; б) р = const.

Решение:

Молярная теплоемкость С и удельная теплоемкость с

*С*

связаны соотношением С - /лс. Отсюда с = —. а) При

***М***

С /

V = const cv= — , где Су = — R. Для кислорода / = 5,  
М 2

следовательно, Cv = Тогда удельная теплоемкость

кислорода при постоянном объеме cv - —;

2//

*cv -* 650 Дж/(кг-К). б) При *Р* = *const Ср - Cv* + *R - -^R.  
1R*

Отсюда с = —; с =910 Цж/(кг\*К).

2//

1. Найти удельную теп. оемкость ср : а) хлористого водо-  
   рода; б) неона; в) окиси азота; окиси углерода; д) паров ртути.

227

Решение:

Удельная теплоемкость с =—-, где молярная теплоем-

***М***

кость С„ = Cr + R. Поскольку С, = — R, то С„ = + .

2 р 2

Для одноатомных газов = 20,8 Дж/(моль-К), для  
двухатомных газов Ср = 29,1 Дж/(моль-К), для много-  
атомных =33,2 Дж/(моль\*К).

а) f.iHa - 0,0365 кг/моль, с\*/? « 800 Дж/(кг-К);

б) //\t = 0,02 кг/моль, =1040 Дж/(кг-К);

в) f.iso = 0,03 кг/моль, =970Дж/(кг-К);

г) jitco = 0,028 кг/моль, =1040 Дж/(кг\*К);

д) juHk - 0,201 кг/моль, ср = 103 Дж/(кг-К).

1. Найти отношение удельных теплоемкостей ср/су для  
   кислорода.

Решение:

Для кислорода ср =910 Дж/(кг\*К), cv =650 Дж/(кг-К) (см.  
с

задачу 5.66); — = 1,4 .

1. Удельная теплоемкость некоторого двухатомного газа  
   сп - 14,7 кДж^кг-К). Найти молярнуто массу // этого газа.

Решение:

Молярная теплоемкость Ср и удельная теплоемкость  
с газов связаны соотношением Ср = ср/и, откуда  
228

ц = —— — (1). Ср =С, +R — (2), где молярная тепло-

емкость при постоянном объеме Сг = —Я. Для ДВУ\*-

с

7

атомного газа / = 5, тогда из (2) Cp= — R — (3).

*1R*

Подставив (3) в (1), получим // ; // = 0,002 кг/моль.

***2ср***

1. Плотность некоторого двухатомного газа при нормаль-  
   ных условиях р -1,43 кг/м\*. Найти удельные теплоемкости с,- и

ср этого газа.

**Решение:**

Молярная теплоемкость С и удельная теплоемкость с  
связаны соотношением С = juc. Отсюда с = С / //. При

*С i*

V = const cv = —где Cv = — R. Для двухатомного газа  
А 2

/ = 5, следовательно, Cr= — R. Тогда удельная тепло-

2

емкость двухатомного газа при постоянном объеме

Су — —— — (1). При Р= const C.=—R. Отсюда сп =  
2// 7 2 '

*1R*

= — — (2). Согласно уравнению Менделеева — Клапсй-

*2р*

*т т т*

рона pV -—RT или р-—RT. Но — = р, тогда  
JLl Vjli V

*р pRT*

p = —RT. откуда р = — (3). Подставляя (3) в (1) и

*И р*

(2), получим Су = ; с = —. При нормальных услови-

2 *р'Г* 2 *рТ*

ях р = 1,013-105Па, Т = 273К. Тогда С,- = 650Дж/(кг-К),  
ср =910 Дж/(кг К).

1. Молярная масса некоторого газа // = 0,03 кг/моль,  
   отношение ср / су = 1,4 . Найти удельные теплоемкости сг и срэтого газа.

Решение:

Удельные теплоемкости сг и ср выражаются следующим

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| образом cv = | Сг\_ | - **(1);** | Ср |  |  |  |
| сп=— ~ | - (2), | где | молярная |
|  | ц |  | М |  |  |  |
| теплоемкость | с„- | **=с, +л** | =-R+R - **2** | **- О).** | По | условию |
| — = 1,4 или Cv | **V** | = 1.4с,-, | тогда из | (3) 1 | 1,4 CY | = Су + R, |

Су = -^-7? — (4), Ср ~~R — (5). Подставив (4) в (1) и (5) в

*5R 1R*

(2), получим cv - —; cv = 693 Дж/(кг-К); с = — ;

2// 2ju

ср = 970 Дж/(кг-К).

1. Во сколько раз молярная теплоемкость С' гремучего  
   газа больше молярной теплоемкости С" водяного пара, полу-  
   чившегося при его сгорании? Задачу решить для: а) У = const:  
   6) р = const.

Решение:

Запишем уравнение реакции 2Н2 + 02 = 2Н20. Таким  
образом из количества i/j = 3 моль двухатомного газа полу-  
230

чается количество v2 = 2 моль трехатомного газа, т.е. до  
SR 1R

сгорания Сп=3— и Ср1=3—; после сгорания

с -2М

**- Z 2**

и

с - 2—

р2 **2**

Тогда а)

**С**

= 1,25;

б)

С/Л

= 1,31.

1. Найти степень диссоциации  
   удельная теплоемкость при  
   ср = 1,05 кДж/(кг-К).

а кислорода, если его  
постоянном давлении

Решение:

Пусть т — полная масса кислорода. Тогда am — масса  
диссоциированного кислорода, a (l -а)-т — масса

недиссоциированного кислорода. Количество тепла, необ-  
ходимое для нагревания газа на некоторую температуру

Д*Т: Q-cpmAT* или *Q = ^(^-a)m + cspani\'АТ,* где *ср* и

ср — соответственно теплоемкости при постоянном  
давлении диссоциированного и не диссоциированного  
газов. Тогда cpmAT = (l -a)m + AT, отсюда

*н (\ \ к* -г *i + 2 R*

*с =c (\-a)+csa .* Т.к. = —

***н***

*1 R*

ТО С„ = и

*I JLI*

**2 И**

czp = ^-—-, поскольку для недиссоциированного газа / = 5

2 М

а для диссоциированного / = 3. Тогда

+ 5—а=—(7(1-а)+10а)=—(7 + За);  
ju 2// 2//

1. *R,.* \

**с/’=7-(1-«)+**

1. **М**

7 + 3 а

2 *fJcpR '*

*а*

**>**

*2fjcp-lR  
3 R*

а =0,362.